L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

"Io non so che cosa possa aver pensato di me il mondo, ma per conto mio mi sembra di essere stato come un fanciullo che, giocando sulla riva del mare, si sia divertito a trovare, di quando in quando, un ciottolo più liscio o una conchiglia più bella dell'ordinario, mentre l'immenso oceano della verità stava davanti a me ancora tutto da scoprire". Isaac Newton

Febbraio 1991 • N° 3 – Nuova serie – Bimestrale

Musil e la scienza

Sulla realtà campata in aria

di *Claudio Magris*

Laboratorio interdisciplinare per le scienze naturali e umanistiche della SISSA, Trieste

Nei Turbamenti del giovane Toerless, *il primo romanzo di Musil (1906), il protagonista parla dei numeri reali e dice che li "sente", che li percepisce come qualcosa di solido e tangibile, quasi essi fossero cose anziché segni astratti, i quali inoltre, nel caso dei numeri, non stanno nemmeno al posto delle cose, ma indicano puri rapporti, immateriali operazioni della mente. Numeri, formule o equazioni vengono vissute con intima partecipazione sensibile, si mescolano alle ambiguità del sentimento e della fantasia, partecipano del torbido e morbido mondo della vita in tutta l'opera di Musil, fin dal suo primo romanzo che scandaglia con rigore geometrico i lati più oscuri della personalità nel periodo cruciale della sua formazione.*

L'opera di Musil — e soprattutto *L'uomo senza qualità*, il grande romanzo incompiuto che si propone di rappresentare l'intera realtà nel suo mutevole divenire ed è perciò destinato a restare inesorabilmente aperto — è un binomio di "anima ed esattezza", come diceva lo stesso autore. Una lucidissima geometria intellettuale si addentra nei tortuosi meandri dell'interiorità per verificare e analizzare, con precisione scientifica — appresa dagli studi di matematica e d'ingegneria — e con scrupolosa oggettività sperimentale quei territori e quei fenomeni che sembrano più riluttare all'indagine della scienza.

Il compito del poeta, per Musil, è portare la massima precisione nella sfera dell'impreciso o dell'irrazionale; la funzione dell'arte — dirà un altro grande scrittore austriaco anch'egli di formazione scientifica, Hermann Broch — è quella di definire i limiti del dicibile, di avvicinarsi con asciutta esattezza alle frontiere dell'indicibile, per additare ciò che sta aldilà dei segni ("aldilà del linguaggio", come dice l'ultima riga della *Morte di Virgilio*, il capolavoro di Broch), sapendo di non poterlo esprimere, ma di poter soltanto rimandare a esso. Il mondo dei segni — e specialmente di quelli matematici, segni per eccellenza — viene investito di una carica vitale; non riguarda solo la scienza, bensì la vita, indistinguibile dalla scienza che cerca di capirla e di darle ordine e forma, e la poesia, anch'essa sistema di segni, che cerca di esprimere la vita e pure di evocare ciò che non si lascia esprimere.

La grande letteratura austriaca tra la fine del secolo e gli anni Trenta è tutta nutrita di cultura e di problematica scientifica; alla sua radice — a parte la formazione di molti dei suoi autori — non stanno concezioni filosofiche o religiose avulse dalla conoscenza scientifica, bensì grandi momenti della scienza contemporanea. Mach con la sua teoria delle sensazioni e dell'"insalvabilità" dell'io, la discussione sulla crisi dei fondamenti della matematica o sull'infinito attuale — come ha ricordato Paolo Zellini — costituiscono la base per l'esperienza letteraria, l'approccio al mondo che si traduce nella metafora poetica. Lontana dai grandi sistemi filosofici d'impronta idealistica o comunque dialettica che dominavano la cultura tedesca, quella austriaca rivela una tendenza analitica e nasce spesso dalla scienza, avvicinandosi piuttosto — notava di recente Paolo Bozzi — a quella anglosassone, ma operando spesso, a differenza di quest'ultima, un cortocircuito tra ricognizione scientifica e tensione metafisica, verifica del dicibile e rimando all'indicibile, di cui Wittgenstein è il più grande esempio.

Il giovane Toerless "sente" la tangibilità dei numeri reali. Ma egli sente pure l'evanescenza dei segni: per lui il numero immaginario *i*, che indica la radice quadrata di meno uno, è un segno che sta per "qualcosa che semplicemente non esiste", in quanto non c'è numero che elevato al quadrato dia meno uno, eppure questo "qualcosa che non esiste" collega un gruppo di numeri reali, come "un ponte di cui ci sono solo i pilastri a un capo e all'altro, e che uno attraversa tranquillo come se ci fosse tutto intero". Quando i matematici, che edificano perfette e coerenti costruzioni concettuali, s'interrogano sul fondamento primo del loro edificio, scoprono che esso non c'è, che tutta la realtà "è campata in aria". Ma è esattamente ciò che scopre lo scrittore indagando la vita; anzi è forse solo lo scrittore che lo scopre, ma solo lo scrittore esperto di scienza e che ha imparato dalla precisione scientifica a scorgere la precarietà della scienza stessa.

Musil conosceva troppo bene la matematica per non accorgersi che il suo riferimento al segno *i* era una metafora ossia un uso improprio, poetico. Ma appunto per questo egli coglie l'essenza della scienza e di ciò che essa significa per l'uomo contemporaneo. Con Galileo, ricordava di recente Paolo Budinich, si è infranta quella *Anschaulichkeit*, quella rappresentabilità sensibile e intuitiva della natura in cui s'incontravano sapere scientifico, esperienza comune e senso poetico; con Galileo la scienza, per conoscere la natura, si allontana dalla sua concreta realtà, risale alle sue leggi immateriali, alle sue ideali forme concettuali. Da allora si è aperto un baratro, che rende la scienza irreale per l'uomo comune e la letteratura gratuita o futile per lo scienziato. Per questo Musil diceva ironicamente che Galileo avrebbe meritato il rogo.

Nell'età contemporanea l'evidenza intuitiva o sensibile sembra risiedere non più nelle cose, ma nelle formule che le dissolvono e le rappresentano. La sfida di Musil consiste nel tentativo di riguadagnare realmente quell'esperienza sensibile passando spietatamente attraverso l'astrazione scientifica che le minaccia, "sentendo" i segni e trasformandoli, per poterli sentire, in metafore. L'odissea del suo uomo senza qualità è anche il tentativo di ritrovare nella scienza una metafora poetica del mondo.

Quel "grande botto" da cui nacque l'Universo

di *Steno Ferluga*,
Dipartimento di Astronomia, Università di Trieste

Mezzo secolo fa il cosmologo George Gamow avanzava una nuova ipotesi sull'origine dell'Universo, fondata sull'idea di un'esplosione primigenia. Oggi questa concezione rappresenta la base teorica della cosmologia moderna. Con essa, il problema dell'origine dell'Universo esce dal dominio della metafisica e rientra nell'ambito della scienza. Una rivoluzione filosofica di portata storica, una grande conquista del pensiero.

Decisamente ardita per la mentalità dell'epoca, la teoria incontrò all'inizio un certo scetticismo. Agli accademici sovietici non piacque perché... poco marxista; il cosmologo Fred Hoyle (che preferiva invece un modello di Universo stazionario) la chiamò ironicamente *Big Bang*, ovvero "grande scoppio".

L'idea del Big Bang — cioè che l'Universo sia nato da una sorta di esplosione primordiale — discende da una fondamentale scoperta astronomica, fatta negli anni Quaranta da Edwin Hubble. In pratica si osserva questo fenomeno: le galassie nello spazio vanno alla deriva, allontanandosi sempre più tra loro, quasi fossero davvero i frammenti di un'esplosione.

Ricostruendo il movimento dei "frammenti" in senso inverso (come se fosse un film proiettato all'incontrario), si può anche risalire all'epoca dell'esplosione, che risulta essere avvenuta circa 15 miliardi di anni fa. Dunque, l'Universo deve avere un'età di 15 miliardi di anni. E' molto se rapportato alla durata della vita umana, ma è appena il triplo dell'età della Terra.

Propriamente, la deriva delle galassie non è (come forse qualcuno crede) il dipartirsi da un punto particolare, sede del Big Bang, situato chissà dove nello spazio. In realtà, è tutto l'Universo — lo spazio stesso — che si espande, trascinando con sé le galassie.

La teoria

Come un gas si raffredda dilatandosi, così anche l'Universo si raffredda espandendosi. Se oggi il cosmo è freddo e rarefatto, in origine esso era caldo e concentrato; si parla appunto di Big Bang "caldo". Al limite, verso il "tempo zero" (ma è una pura astrazione matematica), la temperatura e la densità tendono all'infinito.

La teoria del Big Bang descrive l'evoluzione dell'Universo nelle fasi iniziali della sua esistenza. Partendo da condizioni di temperatura elevatissima (sin dove è consentito dalle attuali conoscenze di fisica), si studia quel che accade via via che la temperatura — cioè l'energia delle particelle — diminuisce. E' chiaro che, col trascorrere del tempo, si formano successivamente particelle compatibili con energie sempre più basse.

Così i primi oggetti apparsi nell'Universo originario furono le particelle elementari (i "noccioli più duri"), cioè gli enti costitutivi della materia al livello più fondamentale: i *quark* ritenuti puntiformi. La moderna fisica delle alte energie, basata su esperimenti con i grandi acceleratori (come quelli del CERN), è in grado di descrivere compiutamente lo stato della maniera nell'universo primordiale, spingendosi fino al primo miliardesimo di secondo, quando il cosmo era un *plasma* di quark.

Poco dopo — al calare della temperatura e quindi dell'energia — hanno potuto formarsi le prime particelle composte, come i *protoni* (aggregati di tre quark), che altro non sono che nuclei di idrogeno. Poi, mentre prosegue inesorabile il raffreddamento del cosmo, vediamo comparire via via strutture più complesse, come ad esempio i nuclei di elio, formatisi durante i primi 3 minuti (quando l'universo aveva la temperatura di una bomba H).

Infine l'evento forse più eclatantè: la formazione dei primi atomi. Ma occorre attendere ben mezzo milione d'anni prima che la temperatura scenda fino a qualche migliaio di gradi, rendendo possibile questo fenomeno. L'aspetto dell'Universo, che fino ad allora era stato pervaso da una nebbia infuocata, dopo la formazione degli atomi cambia radicalmente. Come accade a un pezzo di vetro appena uscito dalla fornace — che, raffreddandosi, diventa trasparente — così anche l'Universo, in quell'epoca remota, da opaco e incandescente divenne trasparente. E' lo stesso aspetto che conserva tuttora, 15 miliardi di anni dopo.

Questa è in sintesi la teoria del Big Bang. Dobbiamo crederci? Ebbene sì, se nutriamo qualche fiducia nella scienza. Una teoria scientifica richiede infatti rigorose verifiche sperimentali, e — nel caso del Big Bang — le verifiche sono inequivocabili. Addentrarsi qui in argomenti teorici sarebbe fuori luogo; ci limiteremo soltanto a menzionare alcune conferme del Big Bang, per dare — in poche righe — un'idea dei concetti in gioco.

Si può calcolare l'abbondanza degli atomi primordiali (25 per cento di elio) e confrontare il risultato con i dati astronomici: i conti tornano. Si può ricavare dalla teoria la temperatura attuale dell'Universo (-270° C), e poi controllarla con analizzatori puntati verso il cielo: i valori coincidono. Infine, gli oggetti che vediamo nell'Universo (stelle, ammassi, galassie) hanno tutti un'età inferiore a 15 miliardi di anni circa: anche qui il conto torna.

Ma perché, allora sui giornali compaiono ogni tanto articoli del tipo: "Crolla la teoria del Big Bang?". Innanzitutto vi può essere un equivoco sul termine. Che cosa si intende esattamente per Big Bang? Il mitico istante zero, o qualche particolare "tempuscolo" infinitesimale definito dalla teoria quantistica (*tempo di Planck*), o un ipotetico fenomeno esplosivo (*inflazione*) avvenuto subito dopo? Oppure, prendendocela più comoda, perché non tutti i primi 3 minuti, o addirittura tutto il primo mezzo milione d'anni? Il fatto è che in generale si parla di Big Bang senza specificarne il significato.

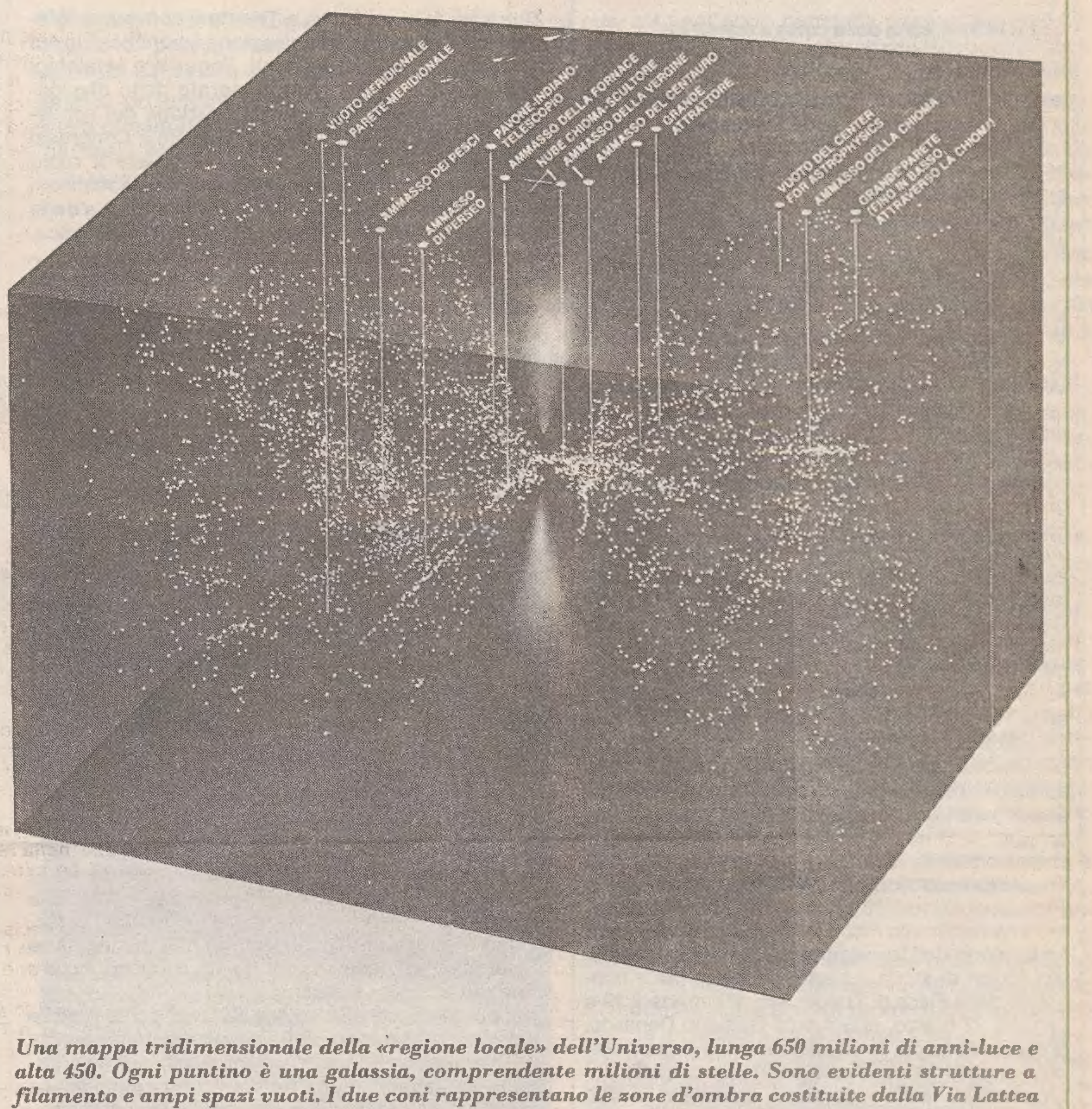
Se intendiamo il *tempo zero* (pensare a "prima" non ha senso), siamo nella speculazione pura; e spesso le critiche al Big Bang riguardano proprio l'una o l'altra concezione dell'istante iniziale, pur non mettendo minimamente in discussione il quadro generale. E' opportuno comunque smentire un diffuso luogo comune: che all'origine l'Universo fosse puntiforme. I cosmologi, al contrario, di solito lo considerano infinitamente esteso!

Il Big Bang si vede

Però, la verifica più sperimentale di tutte sta nel fatto che in realtà il Big Bang letteralmente si vede, sotto forma di una particolare radiazione che ci proviene direttamente dal cielo in ogni direzione e che fu osservata per la prima vólta da Penzias e Wilson negli anni Sessanta. Si tratta, precisamente, di quella luce che si liberò all'atto della costituzione degli atomi, quando appunto l'Universo divenne trasparente. L'evento accadde 15 miliardi di anni fa, per cui quella luce, prima di raggiungerci, ha viaggiato nientemeno che per 15 miliardi di anni. Essa ha quindi percorso una distanza enorme: 15 miliardi di anni-luce. Noi possiamo dunque osservare direttamente le condizioni dell'Universo primordiale semplicemente studiando con i radiometri questa radiazione di *fondo cosmico* che ci mostra l'Universo primordiale: un mare di fuoco alla temperatura di migliaia di gradi.

Se, in questo mare di fuoco, c'erano delle perturbazioni destinate a diventare le future galassie, allora queste dovrebbero essere visibili, in forma di chiazze più o meno luminose. Ma tutti i tentativi di osservarle, finora, sono falliti: la radiazione di fondo cosmico, rilasciata dal Big Bang, appare perfettamente uniforme (almeno nei limiti della sensibilità degli strumenti). Le speranze di una soluzione del problema sono affidate ora al satellite COBE (Cosmic Background Explorer), costruito appositamente per questo scopo. Ma se anche il COBE non trova nulla, cioè se le perturbazioni primordiali non ci sono, allora da dove vengono le galassie?

Infine vi è un ultimo punto, sulla base del quale il Big Bang — ma non si capisce bene perché — viene chiamato in causa. Ancora una volta si tratta di un problema riguardante la formazione galattica, che è chiaramente un fatto successivo al Big Bang. Nuove spettacolari mappe dell'Universo in tre dimensioni su larga scala, fino a un miliardo di anni-luce di distanza, sono state ottenute di recente (celebre quella basata sulle galassie catalogate dal satellite IRAS, la quale ha innescato le recenti polemiche). In questa mappa si riconoscono giganteschi super-ammassi di galassie: troppo grandi, dicono i teorici.



Una mappa tridimensionale della «regione locale» dell'Universo, lunga 650 milioni di anni-luce e alta 450. Ogni puntino è una galassia, comprendente milioni di stelle. Sono evidenti strutture a filamento e ampi spazi vuoti. I due coni rappresentano le zone d'ombra costituite dalla Via Lattea (da «Le Scienze», dicembre 1990).

Nuovi occhiali per la scienza • *rubrica a cura di* Ettore Panizon

Colorare le molecole

Microscopio ottico a fluorescenza e alcune tecniche immuno-istochimiche

In questa terza tappa del nostro viaggio nel mondo degli strumenti di lavoro dell'osservazione scientifica, considereremo una tecnica che permette di riconoscere strutture ancora più piccole e più labili di quelle visibili al microscopio elettronico. Non si tratta più di una tecnica che — come la microscopia elettronica di cui ci siamo occupati nelle precedenti puntate — aumenta la definizione dell'immagine (e quindi la possibilità di ingrandirne i dettagli) in quanto utilizza una sorta di "luce" ad aumentato potere risolvente. L'insieme di tecniche di cui ci occupiamo in questo numero non dà un'immagine più ingrandita dell'oggetto, ma potenzia la capacità visiva del microscopio usando un piccolissimo strumento di indagine che agisce direttamente sul campione. Questo strumento sono gli anticorpi contenuti nel sangue che, sapientemente utilizzati, fanno "vedere" delicatissime, invisibili strutture molecolari.

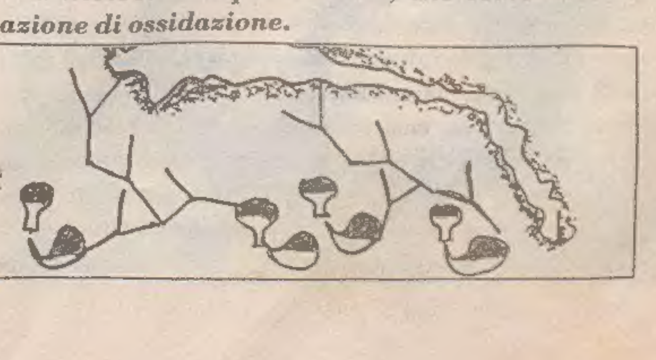
A livello molecolare la superficie degli oggetti (in particolare di quelli di interesse biologico) non è mai uniforme ma anzi assai movimentata dalle strutture tridimensionali delle molecole (soprattutto proteiche) che le costituiscono o che vi sono attaccate. L'immagine analogica che ci formiamo rappresentandoci questa movimentata superficie come quella di una parete rocciosa o di un suolo accidentato non rende ancora la complessità della realtà molecolare, perché ogni conformazione non solo ha una certa struttura spaziale, ma anche una particolare distribuzione di cariche elettriche. Per una molecola che si trova a viaggiare in prossimità di queste superfici, ogni punto non solo costituisce una rientranza o un aggetto, ma anche un polo che respinge o attrae.

Ora queste protuberanze sono estremamente specifiche, vere e proprie "impronte digitali" degli oggetti. Nel sangue, sia dell'uomo che delle bestie, circolano — prodotte da certe popolazioni di globuli bianchi — delle proteine a forma di forcella che hanno sulle punte strutture molecolari conformate in modo tale da attaccarsi esattamente a uno (e solo a quello) dei milioni di possibili tipi di corrugamenti presentati dalle superfici degli organismi con cui il sangue può venire a contatto. Queste proteine a forma di forcella sono appunto gli anticorpi, altrimenti detti immunoglobuline.

La tecnica dell'immunofluorescenza consiste nell'utilizzare immunoglobuline specifiche per le strutture che si

Tessuto uterino. Le zone più scure visualizzano la presenza di citocheratina.

Foto realizzata presso l'Istituto «Burlo Garofolo» da O. Radillo, con una tecnica a tre stadi (illustrata dallo schema qui sotto): anticorpi di topo specifici per la citocheratina (la proteina cellulare che interessa evidenziare) vengono individuati da anticorpi antitopo di capra, ai quali poi si legano anticorpi anticapra di topo, a loro volta legati a molecole di perossidasi, che scatenano la reazione di ossidazione.



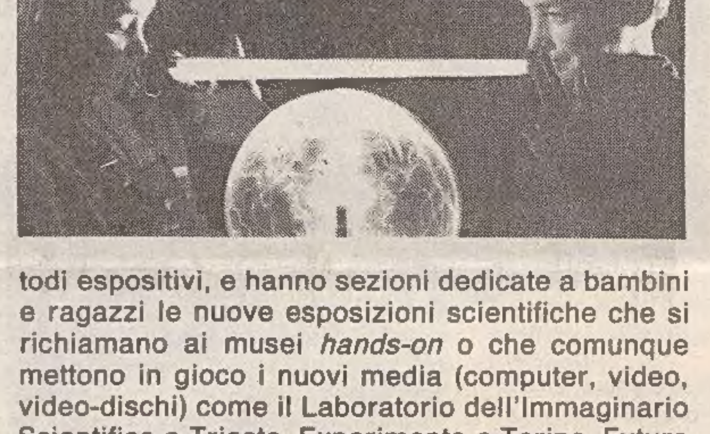
18 - 22 MARZO SETTIMANA DELLA CULTURA SCIENTIFICA IL PROGRAMMA:

Cos'è la Settimana della cultura scientifica?
Promossa dai ministeri dell'Università e della Ricerca scientifica e tecnologica e della Pubblica istruzione, la Settimana della cultura scientifica, la prima mai organizzata in Italia, intende richiamare l'attenzione generale sull'interesse, le modalità e le proposte per una maggiore diffusione della cultura scientifica in Italia.
Per una settimana (dal 18 al 22 marzo) saranno attivate, anche a Trieste, tutte quelle istituzioni (scientifiche e museali) che da tempo lavorano nella divulgazione: convegni, seminari, mostre temporanee, proiezioni e altre manifestazioni testimonieranno il valore della cultura scientifica e la necessità di potenziare la sua diffusione.
Le iniziative a Trieste Troppo numerose per poterne dare dettagliata notizia: facciamo cenno alle principali iniziative rimandando alle segreterie degli Istituti interessati per informazioni più precise.
Mostre e lezioni. Presso il Laboratorio dell'Immaginario Scientifico (Palazzo congressi dell'Ente Fiera di Trieste, tel. 040-390785), sarà possibile visitare *Sentinelle ambientali*, mostra sulla valutazione del degrado ambientale organizzata in collaborazione con il Centro interdipartimentale "V. Giacomini", la sezione di geobotanica del Dipartimento di biologia (Università di Trieste) e la Cooperativa Ecothema; nella stessa sede l'esposizione *Vita nel buio* presenterà la vita nelle profondità della Terra, con esemplari vivi e mezzi audiovisivi (realizzata con la consulenza e la collaborazione del Civico Museo di storia naturale e della Società adriatica di speleologia). Il dott. Sergio Dolce terrà una lezione per le scuole su "Elementi di Speleoecologia" il 18 marzo alle ore 9 e il 21 marzo alla stessa ora nella Sala congressi dell'Ente Fiera di Trieste (prenotazioni allo 040-390785).
Proiezioni. Lunedì 18 marzo presentazione in anteprima del filmato *Piccoli archeologi*, prodotto dal Laboratorio dell'Immaginario Scientifico e dai Civici Musei di storia ed arte di Trieste (Sala congressi della Fiera di Trieste, ore 17); martedì 19 e venerdì 22 marzo, con il prof. Gallieno Denardo, presentazione per le scuole del video *Il laser, fisica e tecnologia della luce coerente*, prodotto dal Laboratorio dell'Immaginario Scientifico e dal Centro internazionale di fisica teorica di Trieste (Sala congressi della Fiera di Trieste, ore 9); martedì 19 marzo presentazione in anteprima della trasmissione televisiva francese *La matière*, realizzata dalla Eolis Productions di Parigi in collaborazione con il Laboratorio dell'Immaginario Scientifico, e consegna del Premio Rovis per la divulgazione scientifica (Sala congressi della Fiera di Trieste, ore 18). Per tutte le proiezioni, prenotazioni e informazioni presso il Laboratorio dell'Immaginario Scientifico tel. 040-390785.
Laboratori aperti: visite agli istituti scientifici. La mattina di giovedì 21 presentazione e visita all'Area di Ricerca, con visita del Laboratorio internazionale di ingegneria genetica e biotecnologia e al Laboratorio tecnologie avanzate superfici e catalisi (per prenotazioni: dottoressa Tosoni, tel. 040-3755206); martedì 19 e giovedì 21 visite alla succursale di Basovizza dell'Osservatorio astronomico di Trieste, con osservazioni (tel. 040-309390 per orari e prenotazioni); per visitare il Laboratorio di biologia marina di Aurisina tel. 040-224400.
Conferenze: Al Centro congressi dell'Ente Fiera giovedì 21 marzo, ore 18: prof. Giorgio Sedmak *L'Osservatorio astronomico di Trieste: programmi e prospettive;* al Centro congressi dell'Ente Fiera venerdì 22 marzo ore 17: prof. Giorgio Sedmak *Nuove tecnologie e nuovi strumenti dell'Osservatorio di Trieste* a cui seguirà una proiezione di diapositive astronomiche con commento di specialisti; il 19, il 20 e il 21 marzo tre pomeriggi di conferenze al Laboratorio di biologia marina di Aurisina (per maggiori informazioni tel. 040-224400).
Convegni. La mattina e il pomeriggio del 20, presso la Sala congressi dell'Ente Fiera, si svolgerà il convegno internazionale "La comunicazione scientifica: media e metodi; il museo come laboratorio di didattica", organizzato dal Laboratorio dell'Immaginario Scientifico. Per informazioni telefonare al Laboratorio allo 040-390785.

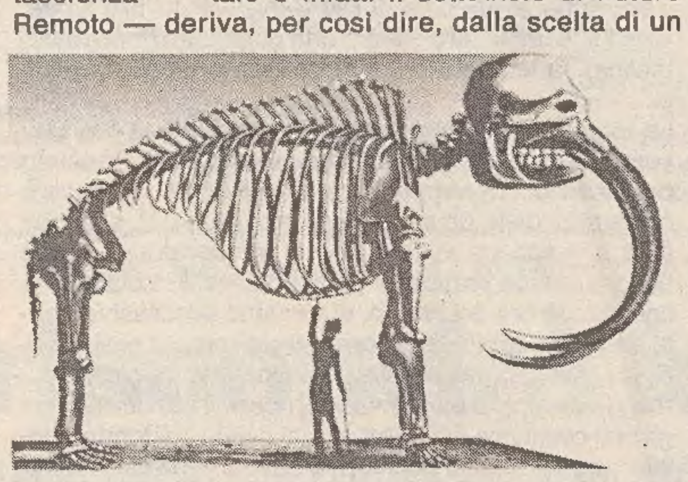
Il museo

un laboratorio per insegnare

Due anni fa si svolgeva a Trieste il convegno "Media e metodi della comunicazione scientifica" in cui scienziati, operatori museali, linguisti e semiologi analizzavano il problema generale della divulgazione scientifica. La seconda edizione del convegno, quest'anno (il 20 marzo nella Sala Congressi della Fiera di Trieste), affronterà invece il ruolo specifico che i musei scientifici e le esposizioni temporanee possono svolgere per la didattica delle scienze, in collaborazione con la scuola pubblica. Esperienze diverse convergono infatti nella constatazione che la scuola necessita di un supporto esterno (di apparecchiature sperimentali, di esperti e referenti scientifici, di materiali multimediali, ecc.) che permettano di trasmettere agli alunni non solo nozioni aggiornate ma la pratica e la consapevolezza del metodo scientifico.
In Italia molte realtà si stanno muovendo, e con successo, per una didattica integrata scuola/museo. Hanno sezioni didattiche alcuni tra i musei scientifici tradizionali che stanno sperimentando nuovi metodi espositivi, e hanno sezioni dedicate a bambini e ragazzi le nuove esposizioni scientifiche che si richiamano ai musei *hands-on* o che comunque mettono in gioco i nuovi media (computer, video, video-dischi) come il Laboratorio dell'Immaginario Scientifico a Trieste, Experimenta a Torino, Futuro Remoto a Napoli, e altri.



Ne parliamo con Salvatore Sutera, conservatore del Museo nazionale della scienza e della tecnica di Milano e con il fisico Vittorio Silvestrini, che organizza a Napoli Futuro Remoto, una spettacolare rassegna annuale di scienza e fantascienza.
Il museo "Leonardo da Vinci" di Milano ha una ricchissima raccolta e antiche tradizioni, ma, proprio per essere un museo oramai storico, e un museo statale, ha anche una gestione molto difficile. Quali sono i problemi gestionali che dovete risolvere?
Vorrei innanzitutto precisare che il nostro Museo non è un museo solo "storico" (come il Conservatoire des Arts et Mètiers di Parigi) ma si avvicina agli altri musei storico-divulgativi come lo Science Museum di Londra o il Deutsches Museum di Monaco. Fondato nel 1953, è vero che si era posto come criterio espositivo quello storico, ma nello stesso tempo si è cercato di intervenire con spettacolarità e permettendo l'interattività per coinvolgere emotivamente e intellettualmente il pubblico (così il pubblico può assistere al lavoro di un maglio idraulico, all'avvio di una macchina termica, ecc.). Certo i problemi sono grandi, basti pensare che il Museo si sviluppa in 28 sezioni in 40.000 mq di aree espositive, che in questo momento rischiano veramente di paralizzare molte attività. Del resto basta ricordare che il contributo finanziario statale è fermo alle cifre del 1884.
Quali soluzioni potrebbero migliorare i vostri problemi gestionali?
Un risultato positivo per noi è stato riuscire a ottenere l'apporto di capitale privato oggi necessario per fare uscire i musei da croniche ristrettezze finanziarie. In attesa dell'aumento del contributo statale per il Museo il contributo di 18 sponsor privati ci ha permesso la realizzazione del Salone Permanente dell'Innovazione, dove vengono presentati alcuni dei più interessanti risultati della ricerca tecnologica in Italia.
Quali sono le vostre iniziative rivolte al mondo della scuola?
E' senz'altro il nostro settore più seguito: fin nei primi anni del museo il Ministero della Pubblica Istruzione aveva istituito presso il museo un Centro di fisica sperimentale per progettare esperienze di fisica da realizzare nelle sale del museo, e molti insegnanti erano stati chiamati a lavorarci a tempo pieno. In seguito il Centro è stato chiuso, anche per permettere un ripensamento dei metodi di insegnamento cambiati anche nella scuola. L'attività didattica non si è però fermata: vengono infatti realizzati itinerari didattici per i diversi gradi di istruzione scolastica.
Da un museo che si rinnova ma che ha antiche radici passiamo a un'esperienza tutta degli anni Ottanta, Futuro Remoto di Napoli, una mega-rassegna che ogni anno dal 1986 offre, negli spazi della Fiera di Oltremare mostre del cinema scientifico e di fantascienza e di libri, esposizioni "hands-on", esposizioni scientifiche organizzate da enti scientifici pubblici e privati, incontri con gli scienziati e seminari, ed anche momenti dedicati al divertimento come una discoteca interna alla rassegna, il tutto dedicato a un pubblico adulto, giovane e anche infantile.
Prima di tutto chiediamo, che problemi organizzativi ed economici deve affrontare chi, oggi e in Italia, vuole organizzare esposizioni a carattere scientifico?
I problemi sono molti, e non solo di carattere economico, anche se questi ultimi ci costringono spesso a fare degli autentici miracoli. La spesa di Futuro Remoto è sostenuta per la maggior quota da una legge regionale ad hoc, e spesso i tempi lunghissimi di pagamento comportano grosse difficoltà. Allo stesso tempo, e senza dubbio, operare al Sud aggrava per certi versi la situazione, e ciò risalta in modo ancora più evidente di fronte da un lato alla grande domanda di conoscenza scientifica che viene dalla società, dall'altro anche all'offerta di conoscenza e competenza che nel Sud e a Napoli in particolare abbondano e chiedono di essere utilizzate.
Quali sono le ragioni della vostra scelta, molto particolare, di unire alla scienza la fantascienza, alla divulgazione lo spettacolo?
La scelta di compiere un "viaggio tra scienza e fantascienza" — tale è infatti il sottotitolo di Futuro Remoto — deriva, per così dire, dalla scelta di un codice. Sono convinto infatti che non è possibile comunicare alcuni aspetti della ricerca scientifica e tecnologica a un pubblico di non esperti se non se ne colpisce profondamente l'immaginario. E questo non vuol dire né banalizzazione né spettacolarizzazione. La fantascienza, l'immaginario scientifico, rappresentano infatti la forma della previsione dell'impatto sociale della scienza e della tecnologia. Cos'è la migliore fantascienza (Asimov, LeGuin, Dick, ecc.) se non questo? E cos'è ad esempio, l'opera di Bacone se non un'utopia tecnologica?



Sappiamo che siete molto interessati ad allacciare rapporti con le industrie. Perché?
Il rapporto con le industrie nasce, in prima istanza, dal nostro interesse per la ricerca tecnologica e i suoi raggiungimenti, il cui luogo centrale è tuttora l'industria. D'altra parte, il progetto di stabilizzazione permanente della nostra esperienza guarda a un orizzonte più ampio della gestione museale strettamente intesa. Io credo, infatti, che le caratteristiche del Mezzogiorno e di Napoli in particolare possano far pensare, piuttosto, alla realizzazione di un vero e proprio Parco scientifico e tecnologico in cui si concentrino funzioni diverse: lo "spettacolo della conoscenza" (ciò che oggi è di fatto Futuro Remoto), ma anche l'incubazione dell'innovazione tecnologica rivolta prioritariamente alle piccole e medie imprese, e soprattutto nel campo dell'industria della cultura.

Il premio "Primo Rovis"

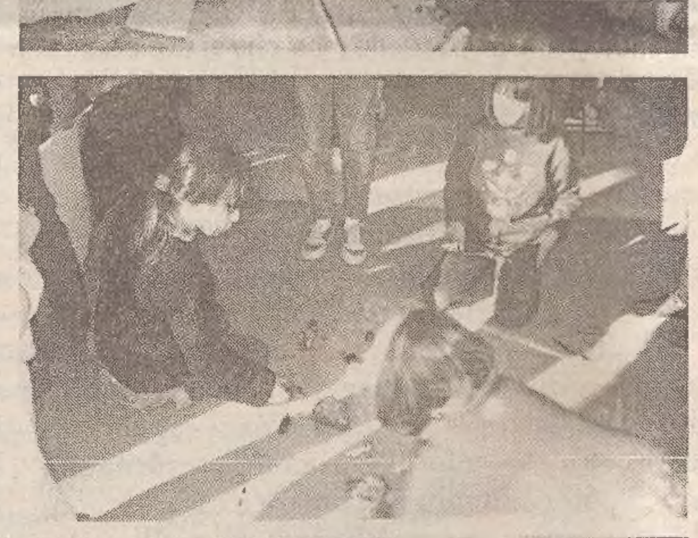
generoso incentivo alla divulgazione della ricerca

"Nessuna inimicizia, nessun odio è più forte di quello dell'ignoranza verso il sapere". Il pensiero contenuto in quest'iscrizione lapidaria incisa a frontespizio della Domus Galileiana di Pisa potrebbe essere fatto proprio dal premio "Primo Rovis" istituito dalla "Fondazione internazionale Trieste per lo sviluppo e la libertà delle scienze". Questo riconoscimento vuole segnalare l'importanza sociale e culturale di chi, persona o istituzione, si sia autorevolmente adoperato nella diffusione, a tutti i livelli, del sapere scientifico.
In un'Italia strabocchevole di premi letterari, un premio alla divulgazione scientifica, tradizionalmente poco praticata e considerata, è un evento del tutto nuovo che attribuisce piena dignità culturale e un concreto incentivo di 20.000 dollari a un settore della comunicazione di crescente rilievo nella società moderna.
E' particolarmente confortante che questo fatto del tutto inconsueto, indice di una salutare inversione di tendenza, avvenga a Trieste, città che allo sviluppo delle sue istituzioni scientifiche ha destinato, fin dal primo dopoguerra, con lungimiranza e successo le risorse umane e materiali necessarie alle iniziative dalla comunità scientifica. Non è casuale che la generosità di un privato cittadino, Primo Rovis, già distintosi in molte opere di grande sensibilità sociale si sia rivolta alla "Fondazione internazionale Trieste" presieduta dal premio Nobel Abdus Salam. Infatti la Fondazione, nata con funzione di promozione e supporto alle iniziative che hanno portato a Trieste con il Centro internazionale di fisica teorica (strumento principe per il trasferimento delle conoscenze scientifiche ai Paesi in via di sviluppo) anche altre istituzioni di grande prestigio scientifico, ha più recentemente attivato attraverso le iniziative del Laboratorio dell'Immaginario Scientifico un vasto progetto di comunicazione multimediale verso il pubblico e un servizio territoriale di appoggio alla sperimentazione della didattica scientifica nelle scuole.
Il Comitato incaricato di selezionare tra le varie candidature il primo destinatario del premio è costituito dal presidente della Fondazione Abdus Salam, Primo Rovis, il principe della Torre e Tasso, il direttore della Sissa, il curatore del Laboratorio dell'Immaginario Scientifico e di due altri autorevoli esponenti della comunità scientifica.
Il premio, che designerà il vincitore tra un'ampia rosa di autorevoli candidati italiani e stranieri, verrà consegnato il 19 marzo al Palazzo dei Congressi dell'Ente Fiera di Trieste, sede del Laboratorio dell'Immaginario Scientifico, durante le manifestazioni che celebrano in tutta Italia la prima Settimana della cultura scientifica promossa dal Ministero dell'Università e della Ricerca scientifica attraverso il "Comitato per la tutela e la diffusione della cultura scientifica e storico-scientifica".

Piccoli archeologi:

come si impara a esplorare il passato

Della vita dei nostri antenati preistorici si sa poco, ma questo poco è moltissimo se si pensa che ogni informazione che abbiamo è il frutto di una faticosa ricostruzione mentale operata sulla base di pochissime tracce, è il disegno di un puzzle immaginato a partire da poche tessere. Da qualche frammento di osso trovato si cerca di risalire all'animale a cui apparteneva, e quindi al clima e all'ambiente naturale che caratterizzava l'epoca a cui appartenevano i resti; il clima e l'ambiente possono a loro volta aiutare a ricostruire la funzione di qualche frammento di manufatto, o a ipotizzare alcune abitudini umane (i vestiti, il sonno... e così via), in un paziente lavoro di ipotesi e deduzioni che sta alla base di ciò che sappiamo, con maggiore o minore sicurezza, sulla nostra preistoria.
Ai bambini di terza elementare, che per la prima volta sono chiamati a conoscere il passato, vengono normalmente presentate delle notizie che hanno perso il carattere ipotetico, e sono diventate nozioni da memorizzare.
In questo caso, come purtroppo avviene per tutte le altre conoscenze scientifiche, non è il metodo scientifico che viene trasmesso, ma solo alcuni parziali risultati, e questo in contraddizione anche con il grado reale di sviluppo dei bambini delle prime classi elementari, che avrebbero bisogno di poter toccare con mano e sperimentare i concetti che vengono loro presentati.
Un esperimento didattico, che ha avuto luogo nei mesi di gennaio e febbraio a Trieste, ha cercato di sollecitare nei bambini la produzione di quelle operazioni mentali che abbiamo visto alla base del lavoro degli archeologi che si occupano di civiltà preistoriche. A partire da un'idea di due maestri (Enzo Burchiellaro e Cristina Roiazzi della Scuola elementare Duchi d'Aosta) e dell'archeologa Serena Mizzan, con la collaborazione dei Civici Musei di storia e arte di Trieste e del Laboratorio dell'Immaginario Scientifico, è stata realizzata la simulazione di uno scavo archeologico: i bambini di quattro terze elementari, guidati dall'archeologa, hanno scavato un "terreno" precedentemente preparato nel secondo piano del Palazzo congressi della Fiera di Trieste, ritrovandovi, in tre strati sovrapposti, reperti contemporanei e preistorici. I bambini hanno fotografato, catalogato e disegnato i reperti, seguendo in questa e in tutte le fasi dello scavo il corretto metodo di lavoro archeologico. Dalle caratteristiche degli strati e dei reperti hanno infine dovuto formulare in prima persona ipotesi sull'età e la natura dei ritrovamenti. Due visite in classe dell'archeologa e una visita della classe alle sale preistoriche dei Civici Musei di storia e arte hanno completato il percorso didattico.
L'esperienza è stata filmata dal regista Gianfranco Rados della Videoest di Trieste, e il filmato, a cura del Laboratorio dell'Immaginario Scientifico, sarà presentato lunedì 18 marzo alle ore 17 nella Sala congressi della Fiera di Trieste, nell'ambito delle manifestazioni della Settimana della cultura scientifica.



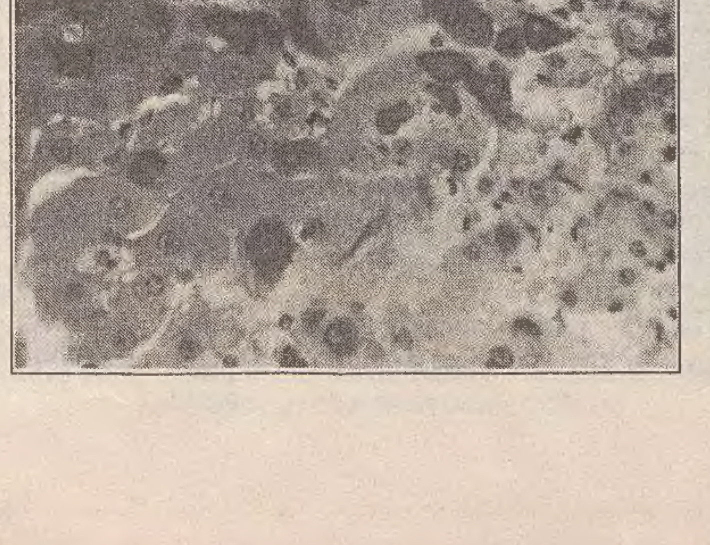
Tre momenti delle ricerche degli archeologi in erba, guidati da Serena Mizzan.

Nuovi occhiali per la scienza • *rubrica a cura di* Ettore Panizon

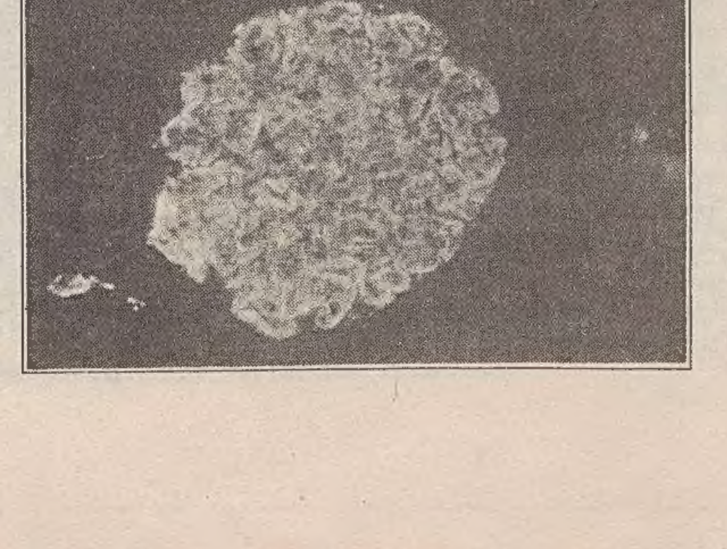
vogliono studiare. Queste immunoglobuline specifiche vengono prodotte da globuli bianchi del sangue di un animale al quale è stata iniettata una soluzione purificata di quelle particolari proteine: il suo sangue riconoscerà queste proteine come corpi estranei (antigeni) e produrrà gli appositi anticorpi. Dal sangue dell'animale si isolano quindi (con procedimenti biotecnologici) questi anticorpi specifici per le proteine che ci interessa localizzare. Poi, per poter vedere dove si sono attaccati questi anticorpi, gli si legano degli altri anticorpi, specifici per i primi, ai quali a sua volta è legata una molecola fluorescente. Si rendono così indirettamente fluorescenti anche le parti della cellula (o del tessuto) che presentano quelle certe — note — microstrutture superficiali. Queste possono essere viste con il microscopio a fluorescenza, un normale microscopio ottico dotato di una lampada a raggi ultravioletti che eccita la fluorescenza del campione.
Il microscopio a fluorescenza serviva e tuttora viene usato anche per lo studio di oggetti naturalmente fluorescenti (come molti micro-organismi marini) e per l'esame di campioni marcati con sostanze fluorescenti.
Usando molecole fluorescenti di diverso colore e attaccandole (più o meno direttamente) a diverse immunoglobuline si possono ottenere immagini policrome che rilevano la distribuzione superficiale di varie proteine contemporaneamente. Il difetto dell'immunofluorescenza è però che può essere usata solo con campioni freschi, perché i principali fissativi sono fortemente autofluorescenti.
Invece di legare all'anti-anticorpo una molecola fluore-

Continua a pagina 4

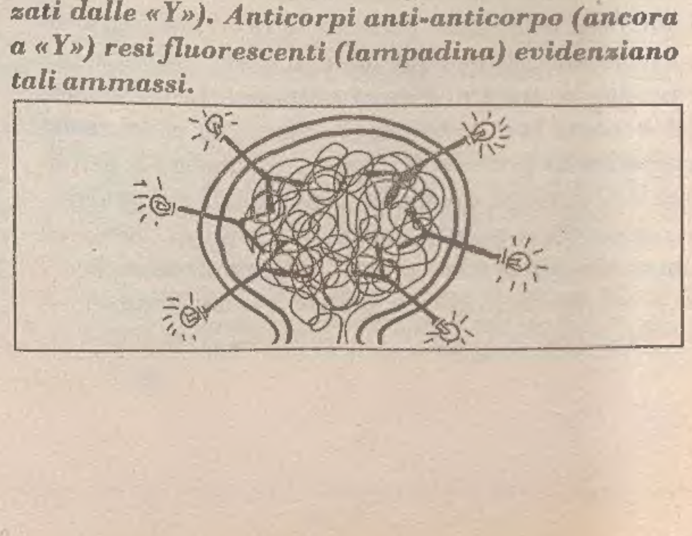
Cellule del fegato. La colorazione immunoistochimica (zone più scure) rivela il virus dell'epatite B.



Glomeruno del rene. L'immunofluorescenza rivela la presenza di anticorpi.



Le foto di questa serie sono state realizzate da M. Melato presso l'Istituto di anatomia e istologia patologica dell'Università di Trieste.
Nello schema qui sotto: il glomerulo renale riempito dalla sua massa capillare. In questa sono depositati ammassi di immunoglobuline (simbolizzati dalle «Y»). Anticorpi anti-anticorpo (ancora a «Y») resi fluorescenti (lampadina) evidenziano tali ammassi.



Copenaghen e oltre

Werner Heisenberg a 90 anni dalla nascita

Vita e opere di uno scienziato del Novecento

Da Wuerzburg a Monaco e poi a Gottinga, da Copenaghen a Lipsia, da Chicago a Berlino e nuovamente a Monaco (con alcune puntate anche a Trieste): i luoghi geografici scandiscono le tappe di una vita dedicata alla scienza, ma segnano altresì gli episodi storici cruciali che videro protagonista uno dei maggiori scienziati del nostro secolo.

Wuerzburg - Monaco (1901-1922)
Werner Heisenberg nacque a Wuerzburg da una famiglia di umanisti: il padre e il nonno materno erano filologi classici (ma fu il nonno paterno, artigiano, a insegnare al piccolo Werner i primi rudimenti della manualità). Un incarico accademico del padre portò gli Heisenberg a Monaco (1911), dove Werner si diplomò brillantemente al Maximilian-Gymnasium, dimostrando interesse per la matematica e la musica. Si iscrisse poi al prestigioso istituto di istruzione superiore del Maximilianeum (1920), dove ebbe per tutore Arnold Sommerfeld, che lo indirizzò allo studio della fisica teorica. Già nel primo semestre di corso Heisenberg presentò un'analisi quantistica dell'effetto Zeeman anomalo (una particolarità dell'emissione spettroscopica del sodio in presenza di campi magnetici), che sembrava prestarsi all'indagine in termini quantistici della struttura atomica della materia.

Gottinga (1922-1923)
Nel giugno 1922 Sommerfeld condusse con sé Heisenberg a Gottinga, dove Niels Bohr teneva una serie di lezioni sulla teoria quantistica e la struttura atomica (il cosiddetto "Bohr-Festival"). Là Heisenberg potè conoscere i maggiori fisici europei dell'epoca e approfondire la propria preparazione matematica giovandosi della celebre scuola di Hilbert. Nel 1923 Heisenberg divenne assistente di Born all'Università di Gottinga, dove ben presto conseguì la libera docenza.

Copenaghen (1924-1927)
Nella primavera del 1924 Heisenberg compì il suo primo viaggio a Copenaghen, all'istituto di fisica di Niels Bohr, il celebre premio Nobel danese che aveva saputo formulare il primo modello in grado di conciliare il modello del nucleo atomico di Rutherford con la teoria dei quanti di Planck. A Copenaghen Heisenberg rimase per sette mesi che si rivelarono preziosi per la sua formazione scientifica e filosofica; egli stesso ricordava che "da Sommerfeld imparai l'ottimismo, dalla scuola di Gottinga la matematica, da Bohr la fisica". In quel periodo Heisenberg tentò un nuovo approccio nello studio dell'emissione spettroscopica dell'idrogeno, che formulò in termini matematici mediante l'analisi di Fourier; in tal modo era possibile spiegare in termini quantistici un punto fondamentale quale la conservazione dell'energia degli elettroni nell'atomo (luglio 1925).
Nel maggio 1926 Bohr offrì a Heisenberg un incarico nel proprio istituto di Copenaghen, dove si studiava allora il modello ondulatorio formulato nel gennaio di quell'anno da Erwin Schroedinger; nel corso della discussione, Born, Bohr e Heisenberg giunsero a un'interpretazione probabilistica della possibilità di rivelare un elettrone in date condizioni. Heisenberg, in collaborazione con Wolfgang Pauli e a seguito di intense discussioni con Bohr, analizzò il "contenuto empirico della cinematica e della meccanica quantistica". Il risultato di queste riflessioni doveva prender forma nel celebre "principio di indeterminazione" enunciato da Heisenberg nel marzo del 1927, che stabiliva un limite alla misurazione simultanea di grandezze canonicamente correlate, quali la posizione e la velocità di una particella.
I risultati ottenuti da Bohr con la sua interpretazione statistica della funzione d'onda di Schroedinger e il principio di indeterminazione di Heisenberg costituirono i principali argomenti di discussione della nuova meccanica quantistica, che fu al centro degli storici convegni di Como e di Solvay (settembre-ottobre 1927): era l'"interpretazione di Copenaghen", che non mancò di suscitare sia entusiasmi sia critiche aperte (come a esempio quella di Einstein).

Lipsia (1927-1939)
Nell'ottobre del 1927 Heisenberg fu chiamato a Lipsia, per ricoprire la cattedra della locale università. Proseguì le attività di ricerca, occupandosi tra l'altro di una interpretazione quantistica del ferromagnetismo (1928), di teorie atomiche delle molecole e dei metalli (1928-1931) e collaborando con Pauli a una teoria relativistica del campo quantistico.
La scoperta del neutrone (1932) spinse Heisenberg a elaborare un modello del nucleo atomico in quanto costituito di protoni e neutroni, e a introdurre il concetto di scambio tra forze nucleari e il formalismo dello spin isotopico. Nel 1933, a Heisenberg, appena trentaduenne, fu assegnato il Premio Nobel per la fisica 1932 "a riconoscimento del suo contributo alla meccanica quantistica e alle sue applicazioni".

Tra Lipsia e Chicago (1929-1939)
In questi anni Heisenberg, pur proseguendo l'intensa attività di ricerca (rivolta tra l'altro allo studio dei raggi cosmici), aveva continuato a viaggiare: le lezioni tenute all'università di Chicago nel 1929 furono raccolte in volume nei "*Principi fisici della teoria quantistica*". A Chicago Heisenberg sarebbe tornato dieci anni dopo, nel 1939, alla vigilia dello scoppio della guerra: il fisico tedesco aveva ricevuto diverse offerte di lavoro negli Stati Uniti; ma volle comunque fare ritorno in Germania, dove lo attendevano la moglie Elisabeth Schumacher, che aveva sposato nel 1937, e i figli; Heisenberg non poteva ignorare che tale scelta implicava anche una serie di responsabilità che non tardarono a delinearsi all'indomani dello scoppio del conflitto.

Lipsia - Berlino - Haigerloch (1939-1946)
Il 1.o settembre 1939 Heisenberg fu convocato dalle autorità militari e assegnato all'ufficio dell'Armamento militare: assieme ad altri scienziati (il cosiddetto "Club dell'uranio") avrebbe dovuto studiare la fissione dell'uranio per la produzione di energia: le ricerche facevano capo all'Istituto Kaiser Wilhelm di Berlino-Dahlem. Heisenberg faceva la spola tra Lipsia e Berlino, proseguendo parallelamente le proprie ricerche sui raggi cosmici. La vicenda di questo progetto segreto presenta molti interrogativi (si legga al proposito l'articolo di Mark Walker del gennaio 1990 nella rivista "Physics Today"). "Volere è potere", si dice; ma i tedeschi (campioni di volontà, si dice) non realizzarono né il reattore né la bomba. Dal 1942 Heisenberg fu direttore dell'Istituto di Dahlem (trasferito in un bunker sotto il castello di Haigerloch, nel Baden-Wuerttemberg). Nell'aprile del 1945 una squadra di agenti segreti alleati (la "Missione Alsos") fece prigionieri gli scienziati impegnati nelle ricerche nucleari segrete, inviandoli prima in Belgio e poi in Inghilterra, mentre gli americani smantellavano il laboratorio e inviavano negli Stati Uniti i materiali radioattivi e i documenti più scottanti.

Ancora Gottinga (1946-1958)
Nell'immediato dopoguerra Heisenberg, liberato nel 1946, tornò a Gottinga per organizzare la ricostruzione degli istituti di ricerca (che presero il nome di "Istituti Max Planck"); proseguì inoltre l'attività scientifica, occupandosi di raggi cosmici, di superconduttività, di teoria statistica della turbolenza, delle proprietà delle particelle elementari.
Nel 1955, venute meno le restrizioni alle attività di ricerca relativa alla fissione nucleare imposte dagli alleati, Heisenberg si fece sostenitore del progetto del primo reattore nucleare tedesco inaugurato a Garching, presso Monaco, nel 1957.
Nel frattempo egli proseguiva le proprie ricerche sulla teoria del campo quantistico delle particelle elementari; dopo il 1952 iniziò a occuparsi di equazioni non lineari del campo, e nel 1957 riprese un'intensa collaborazione con Pauli, che ben presto portò i due a prendere in considerazione le equazioni degli spinori per descrivere le proprietà e il comportamento di tutte le particelle (teoria che la stampa volle designare come la "formula del mondo", e da cui Pauli si dissociò nell'aprile del 1958). Nel 1958 l'Istituto Max Planck per la fisica si trasferì da Gottinga a Monaco, dove sarebbe stato ampliato e articolato in diversi istituti.

Monaco e Trieste (1958-1976)
L'attività di organizzatore instancabile di Heisenberg proseguì altresì nella collaborazione alla progettazione del Cern di Ginevra (inaugurato nel 1959) e del nuovo sincrotrone Desy di Amburgo (inaugurato nel 1962). Heisenberg continuava a occuparsi della teoria non lineare degli spinori; a tale indirizzo teorico, in cui riconosceva la geometrica bellezza del mondo platonico delle idee, egli sarebbe rimasto fedele fino all'ultimo. In questo spirito Heisenberg proseguì altresì la sua opera di ricerca filosofica su basi scientifiche, che si concretò in numerosi scritti e interventi. Nel 1970 Heisenberg rassegnò le dimissioni dall'Istituto Max Planck di Monaco, ma continuò le ricerche e i viaggi, che lo portarono tra l'altro più volte a Trieste. Nel 1973 cadde gravemente ammalato; un anno dopo si era nuovamente rimesso. Ma nel giugno del 1975 ebbe un'ulteriore ricaduta. Werner Heisenberg si spense il 1.o febbraio 1976 nella sua casa di Monaco: il suo contributo alla fisica moderna e al pensiero contemporaneo è stato e rimane ancor oggi di fondamentale importanza.

La fine di un sogno irreale

La fisica — e con essa tutta la scienza — nel secolo scorso ha portato avanti un sogno di onnipotenza, quello della perfetta predicibilità del futuro. Per la sua realizzazione è sufficiente effettuare la misura delle grandezze che interessano con precisione sempre crescente, e su questi dati effettuare i calcoli necessari, utilizzando le leggi fondamentali della dinamica, ormai ben stabilite. Infatti si può leggere che lo scopo della ricerca scientifica, verso la fine del secolo scorso, sarebbe stato ormai quello di determinare con una cifra decimale in più i valori misurati sperimentalmente. Questa concezione del determinismo (risalente a Laplace) non è stata modificata dalla relatività ristretta di Einstein (1905). Essa viene messa in crisi per la prima volta con lo sviluppo della fisica quantistica, che pone in evidenza il dualismo onde-corpuscoli: ogni entità costituente della materia (elettroni, protoni, neutroni, tutte le particelle elementari, inclusi i fotoni) ha proprietà ondulatorie. Con una critica serrata della misurabilità simultanea delle grandezze di posizione e velocità, necessarie a istituire i calcoli dinamici per effettuare le predizioni sugli stati futuri, Werner Heisenberg nel 1926 riuscì a mostrare che non era possibile effettuare le misure con la precisione illimitata che si presupponeva: al crescere della precisione sulle misure di posizione, veniva distrutta necessariamente la precisione della determinazione simultanea di velocità; e viceversa. Il principio di indeterminazione, conseguenza della doppia natura corpuscolare e ondulatoria della materia, caratterizza ed è il fondamento della meccanica quantistica, in contrasto con la meccanica classica newtoniana.

Nella nuova concezione le predizioni possono essere soltanto di natura probabilistica: l'ampiezza delle onde (di Schroedinger) ci fornisce soltanto, con il suo modulo al quadrato, la probabilità degli eventi osservabili. Tuttavia va osservato che sopravvive, pur ridotta in senso probabilistico, la possibilità di fare previsioni precise sulla probabilità, in quanto le onde si propagano in modo deterministico.

Aggiungiamo, per concludere, che il sogno laplaciano, da cui ci ha risvegliati il principio di indeterminazione di Heisenberg per i fenomeni quantistici, subisce oggi un'ulteriore messa in crisi con gli sviluppi più recenti della dinamica dei sistemi. Anche nel loro studio con la meccanica classica, è stata messa in evidenza una grande sensibilità della dipendenza della evoluzione nel tempo dai valori iniziali, tale che la capacità di previsione per tempi più o meno lunghi è di fatto scarsamente significativa. Al limite la certezza sullo stato futuro del sistema richiederebbe una informazione infinitamente grande sullo stato iniziale del sistema stesso, cosa che, ovviamente, va al di là delle capacità umane.

Antonio Borsellino

Nelle foto: W. Heisenberg nel 1924 (sopra) e, qui accanto, negli anni Sessanta.

Indeterminazione:

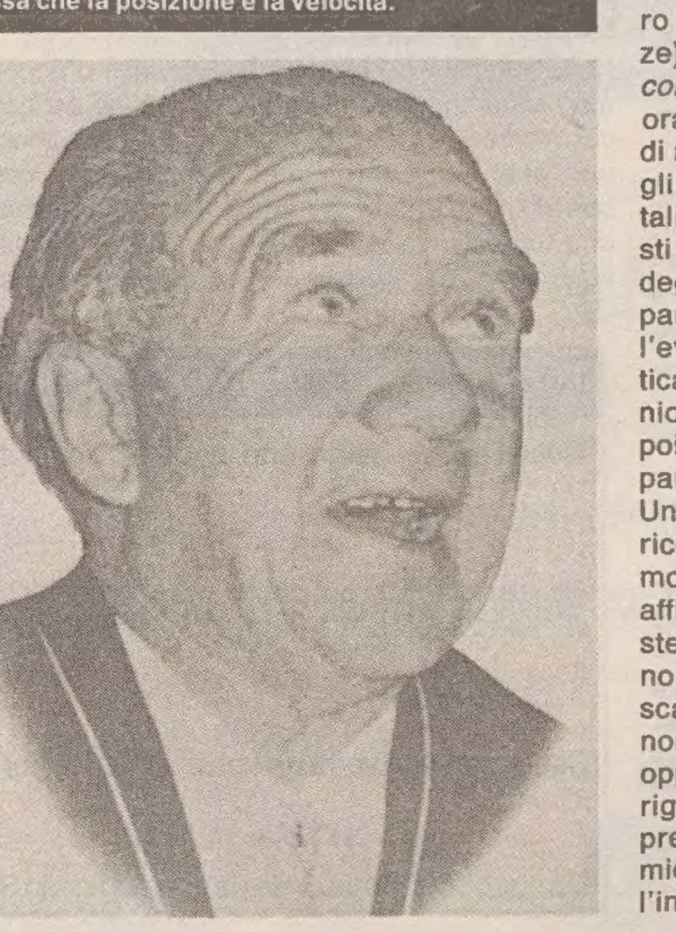
leggi della materia, leggi della vita

Che cosa implica per la biologia il principio di Heisenberg?

di *Arturo Falaschi*,
Centro internazionale di ingegneria genetica e biotecnologia, Trieste/Nuova Delhi

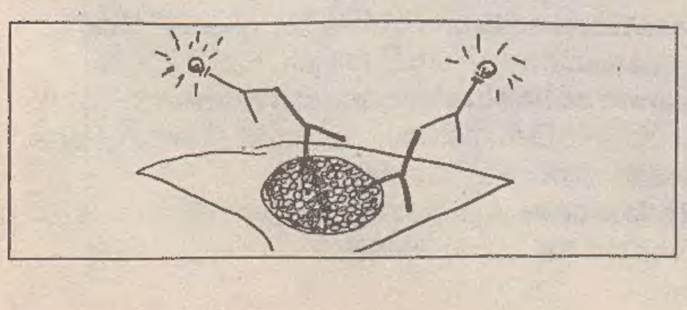
I progressi della biologia molecolare degli ultimi quarant'anni sono consistiti essenzialmente nel riportare i processi biologici a precise strutture chimiche e fisiche e alle interazioni tra queste. Ma è corretto affermare che effetti biologici significativi e macroscopici possono dipendere, in ultima analisi, da fenomeni microscopici sottoposti chiaramente all'indeterminatezza quantistica? La risposta a questo interrogativo, come vedremo, è ampiamente positiva, ma devo aggiungere che, a mio parere, i biologi molecolari, per lo più, non hanno ancora preso coscienza del ruolo che questa indeterminatezza può avere nei fenomeni che essi studiano. Infatti il quadro di riferimento intellettuale in cui ha progredito e continua a lavorare la biologia molecolare è essenzialmente deterministico: "la proteina *x* interagisce con la sequenza di DNA al punto *y* e questo provoca l'espressione del gene *z*, il che permette la sopravvivenza di quell'organismo in quell'ambiente ecc. ecc.". Ora, questo schema mentale, dal punto di vista pratico, è in gran parte giustificato: infatti, le concentrazioni delle proteine che, ad esempio, agiscono sul DNA e regolano l'espressione dei geni, sono abitualmente abbastanza alte all'interno della cellula e la loro affinità chimica con la sequenza bersaglio di DNA è talmente alta che noi possiamo prevedere l'effettuarsi di questa interazione con probabilità vicina a uno (in determinate condizioni) e la conseguente realizzazione di un particolare processo biologico.
Ma anche un evento microscopico subatomico può avere conseguenze macroscopiche vistose. L'occhio umano è forse lo strumento più sensibile che vi sia per registrare radiazioni elettromagnetiche: bastano pochissimi fotoni, quanti si possono contare sulle dita di una mano, che raggiungano pressoché contemporaneamente l'occhio, perché l'individuo registri una sensazione visiva precisa nell'oscurità.

Indeterminazione, principio di. Data una coppia di quantità fisiche correlate, caratteristiche di un microsistema (per es. posizione e quantità di moto, energia e tempo), nel misurarne l'una, l'atto sperimentale distrugge necessariamente la possibilità di misurare l'altra con precisione arbitraria. La necessità, secondo l'interpretazione della teoria dei quanti data dalla scuola di Copenaghen, ha origine a causa del valore finito e della indivisibilità del quanto d'azione elementare h (costante di Planck). Le incertezze reciproche sulla quantità di moto e sulla posizione sono di solito rappresentate mediante Δp, Δq, quelle sull'energia e sul tempo con ΔE, Δt; esse soddisfano la relazione $\Delta p \, \Delta q \geq h/2\pi$ e $\Delta E \, \Delta t \geq h/2\pi$.
Il principio di indeterminazione è conseguenza del dualismo ondulatorio che la meccanica quantistica attribuisce alle particelle atomiche (quali elettroni e protoni), così come ai fotoni. Una relazione di indeterminazione infatti vale per tutti i fenomeni ondulatori, per esempio anche per il suono. Se ad esempio voglio misurare con esattezza la frequenza (numero di oscillazioni al secondo) di un suono puro, questo deve durare abbastanza a lungo nel tempo (così il violinista ha bisogno di un minimo intervallo di tempo per accordare lo strumento). Se invece l'intervallo di tempo è troppo breve, la determinazione della frequenza può essere solo approssimativa. Questa imprecisione relativa della frequenza e del tempo impiegato a misurarla è fissata rigorosamente da un teorema matematico (di Fourier). Nella fisica questo teorema si traduce nel principio di indeterminazione di Heisenberg come conseguenza del postulato che assegna, per esempio, a 1 fotone di energia E una frequenza ν uguale a E/h (dove h è la costante di Planck). In tal modo il principio di indeterminazione vieta perfino il concetto newtoniano di particella puntiforme a cui possa essere assegnata con esattezza illimitata sia la massa che la posizione e la velocità.

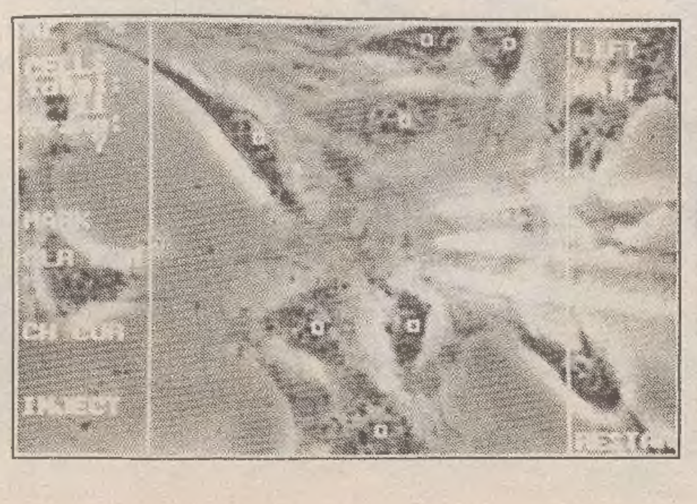


Ognuno di questi cinque o sei fotoni dovrà interagire con una particolare struttura dell'occhio, ma la probabilità di questa interazione è evidentemente sottoposta all'indeterminatezza quantistica. Ora, noi possiamo immaginarci una situazione in cui il conduttore di un treno veloce stia viaggiando di notte e sia in condizioni marginali per vedere un ostacolo presente davanti a lui sulla ferrovia. Se la luce che proviene da quest'ostacolo è assai debole, solo pochi fotoni possono raggiungere l'occhio del conduttore: se interagiscono in un certo modo e in un certo intervallo temporale minimo coi ricettori, il cervello del guidatore registrerà la presenza di un ostacolo e potrà frenare in tempo il treno. Se ciò non avviene il conduttore non vede l'ostacolo, il treno deraglierà.
Anche la riproduzione sessuale (intesa in senso molto ampio, ossia quei casi in cui si ha scambio di materiale genetico tra cromosomi provenienti da due organismi della stessa specie) è sottoposta all'indeterminatezza quantistica: l'elemento chiave di questa forma di riproduzione, consiste nella cosiddetta ricombinazione genetica. Per ricombinazione genetica intendiamo il fatto che due molecole di DNA provenienti da due organismi diversi della stessa specie si avvicinino l'una all'altra mettendosi a registro per quanto riguarda le loro sequenze e poi con una doppia rottura si scambino le sequenze al di là di un particolare punto. In altre parole, un tratto di DNA che porta la sequenza *ABCD*, può incontrare un altro di DNA che porta la sequenza *abcd*, e dopo questo evento di ricombinazione (che consiste in un vero e proprio scambio molecolare tra le sequenze) si ottengono due cromosomi riarrangiati, *ricombinati* come si dice più rigorosamente, aventi ora la sequenza *ABcd* e *abCD*. Questo evento di ricombinazione genetica è diffusissimo in tutti gli organismi, ed è uno degli elementi fondamentali dell'evoluzione delle specie. E' grazie a questi eventi che i figli assomigliano un po' a ognuno degli ascendenti, sia da parte di madre che da parte di padre, e non a uno solo di questi. Ora l'evento molecolare della ricombinazione genetica consiste a un certo punto nella rottura e riunione di due specifici legami chimici che devono poi riarrangiarsi in modo diverso da quello di partenza, scambiando, per così dire il partner. Una volta che si sia formato l'intermedio della ricombinazione, ossia una struttura in cui le due molecole di DNA sono a registro e perfettamente affiancate l'una all'altra, le probabilità che queste due molecole strettamente collegate ritornino ognuna a essere quella di prima oppure si scambino sono assolutamente identiche e noi non possiamo prevedere se avverrà un evento oppure l'altro. E' chiaro che a questo evento, che riguarda la formazione o non formazione di due precisi legami chimici tra i miliardi di legami chimici analoghi presenti nel DNA, è sottoposto all'indeterminatezza quantistica.

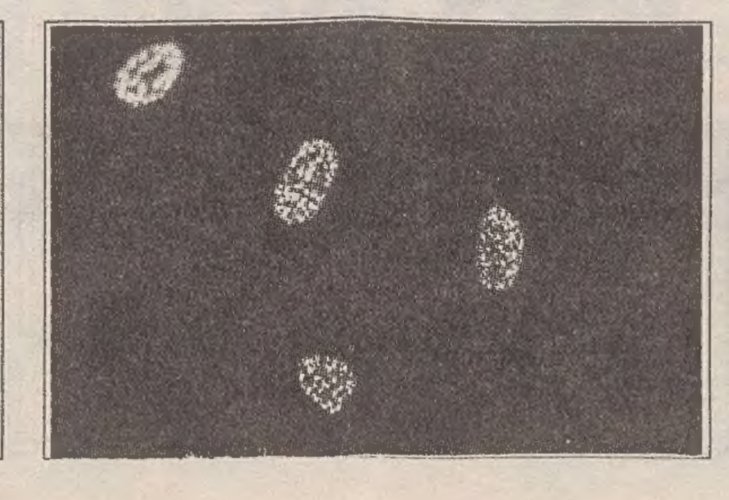
Le microfotografie a immunofluorescenza di questa pagina sono state realizzate presso l'ICGEB da C. Brancolini.
La figura qui sotto spiega la tecnica utilizzata. Anticorpi di topo specifici per una proteina della matrice nucleare sono stati riconosciuti da anticorpo antitopo di coniglio legati a molecole fluorescenti.



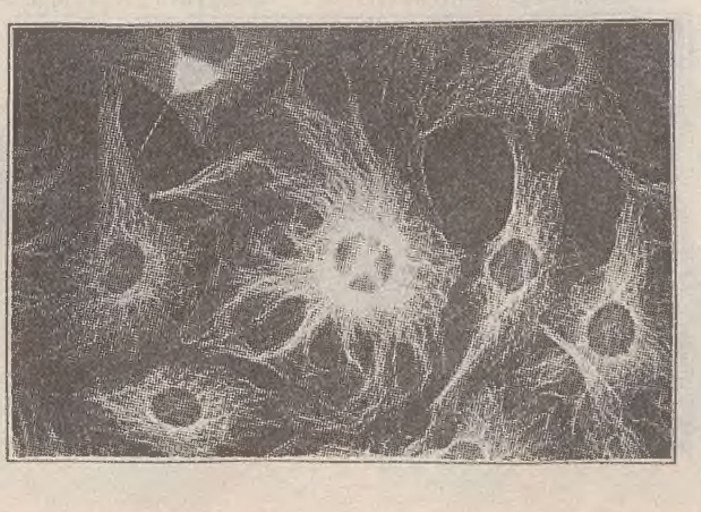
Fibroblasti di topo su un normale microscopio ottico (foto Gasparo).



Fibroblasti di topo. Sono evidenziate le proteine della matrice nucleare.



Le stesse cellule di topo. Sono evidenziati i macrofilamenti del citoscheletro.



In questa immagine sono evidenziati i microfilamenti del citoscheletro.

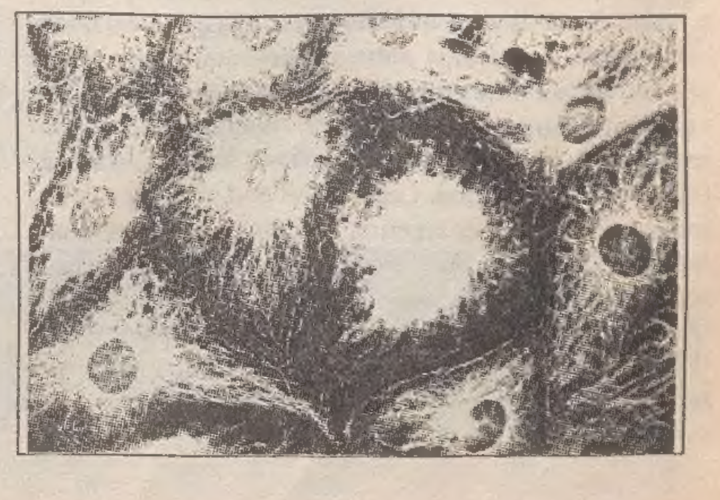


Foto di gruppo: il CEST

Il nome ● CEST sta per "Centro di educazione speciale Trieste". E' un'associazione civile sorta nel 1971 per iniziativa di un gruppo di genitori o familiari di bambini e ragazzi handicappati psichici gravi, insieme a giovani volontari.

Gli obiettivi ● "Raggiungere il massimo di autonomia personale e di integrazione sociale per tutti i soggetti handicappati psichici gravi e gravissimi esclusi anche dalle strutture speciali e associative esistenti": così è scritto nello statuto del CEST. Un tanto voleva dire organizzare forme di intervento socio-educativo per tutti coloro i quali erano esclusi dagli asili, dalla scuola, dalle istituzioni anche "speciali", perché giudicati irrecuperabili e, cioè, ingestibili da tutte le forme di organizzazione selettiva che finiscono per gestire se stesse. Organizzazione del lavoro, quindi, impostata su due binari: ricerca e "invenzione" di un modello operativo, diurno, non emarginante, teso anche al recupero del tempo perduto.

I risultati ● La realizzazione di un progetto speciale per l'inserimento nella realtà sociale e lavorativa di giovani e adulti handicappati; il progetto, steso in collaborazione con la Provincia di Trieste e parzialmente finanziato dalla CEE (1976-1984), ha consentito fra l'altro di attivare i Centri educativi occupazionali, che offrono opportunità di lavorare per lo sviluppo di una vita di relazione e di compiere attività ginniche, motorie, musicali e ricreative. L'impegno di soci e operatori del CEST ha contribuito a che venisse archiviato il progetto di un "manicomio per bambini" regionale a Cormons, dove sarebbero stati rinchiusi tutti i "difficili" della regione. Nello stesso senso va intesa anche la chiusura della scuola speciale "G. Palutan" (1977).

I soci ● Sono, in prevalenza, familiari dei ragazzi assistiti; ma chiunque può associarsi in una delle tre possibili forme previste dallo statuto: socio ordinario, sostenitore, onorario.

I servizi del CEST ● Attualmente i servizi del CEST comprendono tre Centri educativi occupazionali (Ceo): la "Casa del giovane" di Valmaura, il Ceo di via Denza 2, il Ceo "G. Palutan" di via Cantù 43. Inoltre il CEST organizza le attività del Laboratorio serigrafico di via Cereria 3 e del Laboratorio Zenzero di via Vigneti 111/b (in cui si fanno attività artigianali, quali la pittura su stoffa); di competenza del CEST sono inoltre la gestione della comunità alloggio di via Valmaura e l'alloggio per le emergenze familiari di via Muzio. Tutte queste attività vengono gestite dal CEST in convenzione con i Comuni di Trieste, Muggia e San Dorligo. Sono circa cinquanta le persone che usufruiscono di questi servizi, che si articolano in un ventaglio di diverse possibilità commisurate alle diverse esigenze. Ogni servizio del CEST organizza due periodi di soggiorno all'anno (una settimana in inverno e due in estate) che offrono l'opportunità di vivere in comunità al di fuori dell'ambiente consueto. Va segnalato infine il periodico "Erbamatta", strumento di comunicazione scritta e disegnata a cura di collaboratori e soci del CEST.

I progetti futuri ● Il lavoro del CEST deve trovare, come risposta della collettività, la sua naturale prosecuzione nella realizzazione di strutture e risorse destinate a quanti corrono il rischio di trovarsi in situazioni molto difficili, a esempio quando vengano a mancare i loro familiari. La prevedibile scomparsa dei nuclei familiari impone con urgenza la realizzazione di comunità residenziali. L'impegno attuale del CEST è rivolto in questa direzione, senza perdere di vista anche la necessità di ampliare l'orario di servizio dei Ceo (ora aperti dalle 8.30 alle 14, dal lunedì al sabato).

Per ulteriori informazioni ● Rivolgersi alla sede operativa del CEST, a Trieste, in via S. Muzio 9, telefono 308678.

Capire l'organizzazione della natura e della vita

"Fu Prigogine a convincermi a lavorare sull'irreversibilità dei sistemi biologici"

Intervista al fisico Ioannis Antoniou, Bruxelles

Abbiamo incontrato Ioannis Antoniou, fisico greco studioso di processi irreversibili, collaboratore a Bruxelles del premio Nobel Ilya Prigogine, e gli abbiamo posto alcune domande.

Dott. Antoniou, al Simposio internazionale "Strumenti concettuali per capire la natura", tenutosi di recente a Trieste, lei ha presentato una relazione su "Dinamica e irreversibilità intrinseca". Avendo studiato, con una visione nuova e anticonformista, problemi fondamentali della scienza quali l'irreversibilità, l'unidirezionalità del tempo, l'auto-organizzazione nei sistemi aperti, la dinamica delle strutture, ecc., lei certamente ha delle interessanti idee personali sul nuovo approccio alla scienza. Come pensa che vada impostata l'istruzione scientifica per le nuove generazioni?

Credo che nelle scuole superiori si possa presentare la scienza stimolando i ragazzi a trovare da sé le leggi scientifiche. Si può ad esempio, senza parlare delle leggi di Newton, domandare agli studenti di eseguire alcuni esperimenti scelti accuratamente in modo che possano capirne il significato, e queste esperienze possono servire da punto di partenza. I giovani devono provare personalmente la gioia della scoperta, perché questa è la base della scienza. Lo stesso si può fare anche con i bambini delle elementari; i bambini sono molto attratti dalle cose semplici... scoprire i magneti, le macchine... partendo dall'esperienza l'insegnamento avrà sicuramente successo. Se invece si presenta solo una serie monotona di dati e fatti acquisiti si va incontro a un sicuro fallimento. I bambini hanno poi qualcosa in comune con gli scienziati: la curiosità; vogliono scoprire la verità, sono circondati da un mondo sconosciuto e fanno esperimenti per capirlo. I bambini fanno sempre esperimenti con noi adulti, ci mettono alla prova. Per esempio, mio figlio mi domanda qualcosa, io gli rispondo e lui pone la stessa domanda agli altri e poi compara... Per questo credo che possa essere utile proporre esperimenti, anche esperimenti che danno risultati in apparente contraddizione, perché il bambino possa essere costretto a pensare di più, a sviluppare la capacità di astrazione per risolvere il paradosso o la contraddizione. E' questo il modo, secondo me, in cui si è sviluppata la scienza: affrontando i paradossi incontrati lungo il cammino.

Cosa pensa della divulgazione scientifica attuata attraverso i vari mass media, come giornali, riviste, televisione?

Naturalmente non si può che essere d'accordo, ma credo che bisogna stare attenti ad arricchire veramente le conoscenze del pubblico e non il suo grado di confusione. Normalmente coloro che si occupano di divulgazione sono giornalisti che hanno un accesso limitato alla conoscenza scientifica; per questo alle volte quello che scrivono può ingenerare confusione. Occorrerebbe invece una stretta collaborazione tra uno scienziato e un giornalista: o lo scienziato impara un po' di giornalismo e scrive direttamente i suoi articoli, o il giornalista impara un po' di scienza; oppure lavorano insieme.

Geometria dei frattali (da H.-O. Peitgen e P.H. Richter, «La bellezza dei frattali», Boringhieri 1987).

Crede che la scienza abbia già un linguaggio comprensibile ai non scienziati, o crede che si debba creare un nuovo linguaggio per spiegare al pubblico il vostro lavoro?

Penso che sebbene in alcuni casi sia indispensabile usare un linguaggio tecnico, quasi sempre si possono evitare i dettagli tecnici mostrando invece immagini, fotografie o diagrammi; e questo parla meglio al pubblico. Naturalmente non esiste una ricetta precisa da seguire, però se si medita abbastanza su un dato argomento si può trovare il modo appropriato di presentarlo al pubblico in modo che sia comprensibile e che possa ridurre la confusione. Dunque si può stabilire una collaborazione tra educatori, giornalisti e scienziati basandosi su un linguaggio comune.

Adesso vorrei porle una domanda relativa al suo lavoro sulla irreversibilità. Da molto tempo gli storici hanno osservato che nella storia esistono dei cicli, cioè che alcuni eventi si ripetono a intervalli di centinaia di anni. Dunque nella storia si manifesta periodicità, che è una caratteristica dei sistemi reversibili; mentre se consideriamo che gli eventi storici siano irreversibili, allora non dovrebbero ripetersi periodicamente. Cosa ne pensa?

E' molto difficile fare una affermazione precisa su questo argomento, si possono solo esprimere sensazioni, e le sensazioni personali indicano che esiste qualcosa come la periodicità, ma non si può dimostrare con una statistica adeguata. La irreversibilità è più o meno legata alla unidirezionalità dei processi, perciò un dato processo può avere dei cicli, solo che il processo inverso non può aver luogo esattamente nella stessa maniera; dunque un comportamento di tipo periodico non è in contraddizione con la unidirezionalità del tempo.

Mi piacerebbe porle una domanda sul suo lavoro in collaborazione con il premio Nobel Prigogine. Su quale campo vi siete incontrati, e come avete cominciato a lavorare insieme?

La ragione è che ero molto affascinato dalla scoperta della auto-organizzazione nei sistemi aperti perché risolveva veramente il problema della vita. Prima del lavoro di Prigogine si credeva che la vita fosse in contraddizione con la seconda legge della termodinamica perché i sistemi evolvono in modo da aumentare l'entropia, cioè il disordine. Ciò è vero per i sistemi chiusi, ma se un sistema è aperto e scambia energia e informazione con l'ambiente allora può auto-organizzarsi. Questa idea mi affascinò tanto che scrissi a Prigogine chiedendogli se era possibile che io andassi a Bruxelles per lavorare con lui. Egli mi invitò a un colloquio durante il quale mi espose il problema della irreversibilità, che a suo parere era molto più interessante, dato che per il problema della auto-organizzazione le idee principali erano già state delineate negli anni Sessanta, mentre oggi l'interesse principale è di sviluppare veramente alcune conclusioni per i casi concreti e verificare le conclusioni con gli esperimenti reali. Invece il problema della irreversibilità è tuttora un problema aperto. Così mi convinse a lavorare sulla irreversibilità e non sulla auto-organizzazione, di cui comunque ho seguito i progressi.

Secondo la termodinamica, tutte le parti di un sistema chiuso dovrebbero tendere ad assumere la stessa temperatura. Invece, nell'universo in espansione, la materia e la radiazione, da quando si disaccoppiarono miliardi di anni fa, hanno sistematicamente due temperature diverse. Ciò potrebbe essere quel che alimenta l'organizzazione nell'Universo stesso: le galassie, i sistemi planetari e forse persino la vita. Quale è la sua opinione?

In un lavoro recente Prigogine e collaboratori cercano di estendere il formalismo termodinamico nei sistemi con gravitazione, e hanno scoperto come in un semplice caso concreto la auto-organizzazione può manifestarsi nell'Universo, così l'Universo può essere visto quasi come un essere vivente applicando una estensione della termodinamica alla relatività, ovvero una versione termodinamica della relatività...

Lei si esprime come se avesse in mente una idea di "Gaia Universale"... Cosa pensa, a questo proposito, della ipotesi di Gaia formulata da Lovelock, secondo cui la Terra funzionerebbe come un unico sistema vivente, "Gaia" appunto?

Sembra molto plausibile, specialmente avendo modo di vedere i dati presentati da Lovelock. Egli mostra, in una scala di tempo ridotta, alcune serie di immagini o simulazioni al computer che coprono migliaia di anni di vita della Terra: distribuzioni di temperature, di gas, di umidità, di continenti. La Terra in evoluzione appare proprio con caratteristiche tipiche degli esseri viventi. E' veramente affascinante!

(A cura di Gemma Calzada)

Vorremmo fare qualche domanda ai lettori...

Quanti articoli dell'inserto leggete? Uno o due articoli? Alcuni? Tutto dall'inizio alla fine?

. . . .

Nei tre numeri fin qui pubblicati abbiamo toccato svariati argomenti scientifici e tecnici. Quali articoli vi hanno interessato maggiormente? Quali meno?

. . . .

Che argomenti vorreste veder affrontati nei prossimi numeri?

. . . .

Da spedire a: Redazione dell'Immaginario Scientifico Notizie: via S. Francesco, 62 — 34133 Trieste

L'angolo matematico

Ma quanto erano vecchi gli antichi Romani?

di *Andrea Sgarro*
Dipartimento di matematica e informatica, Università di Udine

Non molto tempo fa ho letto le affermazioni di un nostro sociologo di punta, secondo cui: 1) nell'antica Roma i vecchi erano rarissimi, poiché la vita media era di trent'anni o giù di lì; 2) essendo rarissimi, i vecchi erano circondati da ammirazione e da rispetto unanimi. Contesto entrambe le conclusioni, ma solo la prima per ragioni matematiche (quanto alla seconda, mi limito a rilevare che anche i suonatori di oficleide sono rarissimi, eppure...).

L'affermazione 1) si può riformulare come segue: se la vita *media* è di trent'anni, è *normale* vivere pressappoco trent'anni, dai 25 ai 35, diciamo. Strano, perché un famoso poeta vissuto in un'epoca, in cui la vita media non si era granché allungata, scriveva: "Nel mezzo del cammin di nostra vita", e pensava ai 35 anni. Possibile che considerasse normale vivere settant'anni in un mondo dove, se l'implicazione del nostro sociologo regge, di vecchi ce n'erano ben pochi?

Sembra che ci sia un imbarazzante divario fra *explicandum* (il concetto vago da spiegare, che qui è la durata di vita "normale", "tipica", o "caratteristica") ed *explicatum* (il concetto ridotto a formula precisa: qui la durata di vita media, calcolata sommando le durate individuali e dividendo per il numero dei censiti).

Esaminiamo allora assieme le statistiche che abbiamo scovato negli archivi parrocchiali di Villafinta, statistiche che si riferiscono ai morti fra il dicembre 1345 e l'agosto 1346 (tutto il resto è andato bruciato): 0, 1, 1, 1, 36, 40, 71, 75, 75, 75, 76. In quegli anni la mortalità infantile era spaventosa; ci furono inoltre due caduti durante l'incursione saracena di fine aprile e cinque morti di morte naturale, come si usa dire. L'età media è di quarantun anni, ma non è affatto l'età tipica a cui si moriva a Villafinta: a un sociologo che lo sosteneva, i villafintesi replicarono offesi che dalle loro parti era del tutto normale superare la soglia dei settanta.

Il sociologo deluso pensò allora di servirsi di due altri indici usati dagli statistici: il valore *mediano* e il valore *modale*. Per ottenere il valore mediano i dati si ordinano in maniera crescente (noi l'avevamo già fatto) e si prende il dato che sta a metà strada: l'età mediana degli abitanti di Villafinta è dunque di quarant'anni tondi. Ahimè, è cambiato ben poco! Il valore modale è invece quello che si presenta più spesso: nel nostro caso ci sono due durate di vita modali, 1 anno e 75 anni.

Sembra che finalmente si sia riusciti a catturare l'*explicandum* mediante un *explicatum* adeguato: a Villafinta ci sono due età tipiche per lasciare il mondo, o lo si lascia subito, o ci si attiene alle prescrizioni del poeta. E invece no! A una più attenta lettura del manoscritto uno dei 75 si è rivelato un 72 scritto in fretta. Ben poco è cambiato, direte, la distribuzione delle durate di vita a Villafinta rimane nettamente *bimodale:* avete ragione, eppure la moda calcolata in base alla nostra regoletta è crollata a 1 anno e basta.

Dobbiamo rassegnarci: non si può pretendere di riassumere una tabella di dati tramite un unico valore numerico senza rimetterci tutta una serie di informazioni essenziali sulla "distribuzione" di quei dati. E allora, che fare? Buttiamo la statistica nella spazzatura, e facciamo la felicità di Trilussa che si lagnava di non aver mai mangiato il gustoso pollastro che pure le statistiche gli assegnavano?

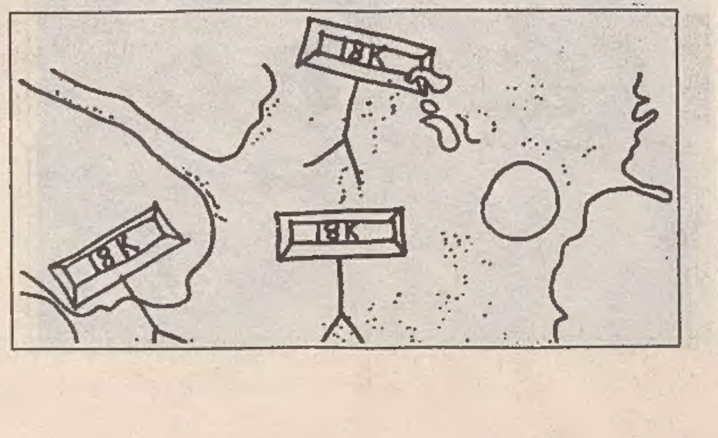
Niente affatto: le tabelle di dati, a differenza della nostra, che (lo confessiamo!) è falsa, sono lunghissime (pagine e pagine di cifre) e dunque "illeggibili", incomprensibili. Riassumerle, anche a costo di deteriorarle, è inevitabile: purché si sappia cosa si sta facendo, naturalmente. Sul problema di un uso corretto di media, mediana, moda e di altri indici statistici torneremo nel prossimo incontro.

scente, ci si è orientati in questi ultimi anni verso una tecnica più comoda. Particolari catene di immunoglobuline strutturate "ad albero" (a un certo anticorpo si attaccano vari anticorpi anti-anticorpo, a ognuno dei quali si attaccano molti altri anticorpi anti-anticorpo, ecc.), che terminano tutte con una molecola di perossidasi, un enzima ossidante, permettono di visualizzare (con una macchia scura) una certa distribuzione di proteine senza l'uso della fluorescenza. Legando all'anti-anticorpo delle molecole di oro o di argento, il tessuto — opportunamente preparato — può essere osservato anche al microscopio elettronico a trasmissione.

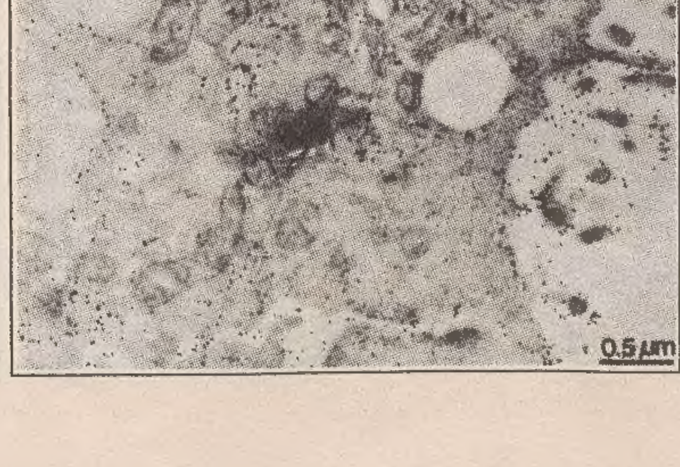
Queste tecniche sono ormai di largo uso, sia nello studio della biologia cellulare sia in clinica medica, come strumenti diagnostici, soprattutto nella diagnosi precoce di tumori.

Leucociti che hanno fagocitato batteri marcati con fluorescina (foto di S. Perticarari, Istituto "Burlo Garofolo").

Nello schema qui sotto la foto dell'ultrafettina di cellula renale è stata ridisegnata per mostrare come le molecole anticorpali («Y») specifiche per una sostanza di superficie la rendono visibile al microscopio elettronico legandosi a molecole contenenti oro (lingotti).



Immuno-elettromicrofotografia in cui si vede l'oro (i punti neri) legato a molecole cellulari di superficie (cortesia Philips).



L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

Editore: Società Editoriale Libraria per azioni
Stampato presso: O. T. E. via G. Reni, 1'
Pubblicazione registrata al Tribunale di Trieste, n° 773 del 24/1/90
Direttore responsabile: Margherita Hack
In redazione: Piero Budinich, Fabio Pagan
Hanno collaborato a questo numero: Antonio Borsellino, Gemma Calzada, Ettore Panizon, Paola Rodari, Nicoletta Tamburini,
Redazione: via San Francesco 62. — 34133 Trieste — tel. (040) 764276